

IL PROGETTO EUROPEO A⁴IM: REALIZZAZIONE E CARATTERIZZAZIONE DI UN TOMOGRAFO RM OPEN-SOURCE A MAGNETI PERMANENTI

Umberto Zanovello, Alessandro Arduino, Vittorio Basso, Luca Zilberti, Alessandro Sola, Andrea Agosto, Luca Toso, Oriano Bottauscio

Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica (INRiM), Strada delle Cacce 91, 10135 Torino

Lo sviluppo di strumentazione per la tomografia a risonanza magnetica (RM) a basso campo (<0.1 T) sta vivendo una fase di espansione grazie all'impiego dell'intelligenza artificiale e ai costi di mantenimento contenuti.

Questi sistemi sono più economici, sicuri e adattabili a diversi ambienti rispetto ai tomografi comunemente usati in ambito clinico. Inoltre, essendo realizzabili tramite l'impiego di magneti permanenti, possono essere leggeri e trasportabili, permettendo di implementare la logica in cui la RM "arriva al paziente" anziché il "paziente alla RM".

Al fine di sviluppare al meglio questa tecnologia, occorre progettare e caratterizzare in modo accurato tutti gli elementi, sia hardware che software, che devono operare in sinergia per produrre risultati affidabili a livello diagnostico.

Il progetto europeo 22HLT02 A4IM (<https://www.a4im.ptb.de/home>), finanziato nell'ambito della European Partnership on Metrology e avviato a fine 2023, si pone l'obiettivo di progettare e caratterizzare dal punto di vista metrologico tre esemplari di tomografo RM a 50 mT per la tomografia della testa e degli arti.

L'INRiM è coinvolto nella realizzazione di uno di questi esemplari, che sarà quindi disponibile al termine del progetto presso i propri laboratori per successivi sviluppi sia di ricerca che didattici. Nello specifico dello sviluppo, il gruppo di ricerca INRiM è focalizzato sulla caratterizzazione del campo statico e sulla progettazione e caratterizzazione della bobina di eccitazione a radiofrequenza.

Per quanto riguarda il campo statico, questo è realizzato mediante magneti permanenti disposti secondo una variante della configurazione Halbach, con lo scopo di confinare la disuniformità del campo magnetico nella regione di imaging a valori prossimi a 1000 ppm. La configurazione adottata, ottimizzata mediante algoritmi genetici, prevede l'impiego di circa 2300 magneti permanenti NdFeB N52 disposti su 18 anelli, tali da costituire un volume di accesso di diametro pari a circa 320 mm e lunghezza assiale di circa 440 mm.

I magneti permanenti sono stati caratterizzati mediante isteresigrafo, ottenendo le curve di smagnetizzazione nell'intervallo di temperature a cui possono essere soggetti durante il funzionamento del tomografo, da 20 °C fino a 100 °C. Inoltre, è stata valutata la dispersione statistica dell'induzione residua su un campione di magneti permanenti, attraverso il metodo di estrazione. Questa informazione ha permesso la valutazione della variabilità statistica del livello di uniformità prevista del campo magnetico all'interno del volume di accesso attraverso l'effettuazione di simulazioni Monte Carlo, ottenute mediante un modello dipolare dei magneti permanenti che tiene conto della forma dei magneti, della loro interazione reciproca e degli effetti di non linearità nella caratteristica di smagnetizzazione. Il modello dipolare è stato validato mediante confronto con simulazioni agli elementi finiti utilizzando il solutore statico di CST.

Per quanto riguarda la bobina a radiofrequenza, è stata progettata e realizzata una prima versione ottimizzata per *imaging* della testa a 2.2 MHz. La bobina adotta una struttura a solenoide dove la distribuzione dei 14 avvolgimenti è ottimizzata al fine di massimizzare l'omogeneità e l'efficienza all'interno di un fantoccio di riferimento. Essa è realizzata tramite filo Litz per minimizzare l'effetto pelle e di prossimità rilevanti alla frequenza di utilizzo. Il supporto della bobina è stato progettato per essere stampato tramite stampa 3D ed è stato realizzato in PLA. Nella progettazione della bobina è stato adottato un approccio modulare dove la circuiteria è saldata su PCB che possono essere connesse ai conduttori tramite opportuni pin. Tale soluzione permette di implementare migliorie senza la necessità di dover modificare la struttura base della bobina, né di dover ristampare il supporto. Prime misure su banco hanno evidenziato una banda -3 dB di 12 kHz e un range di adattamento pari a circa 48 kHz tramite un condensatore di capacità variabile tra 1 pF a 23 pF.

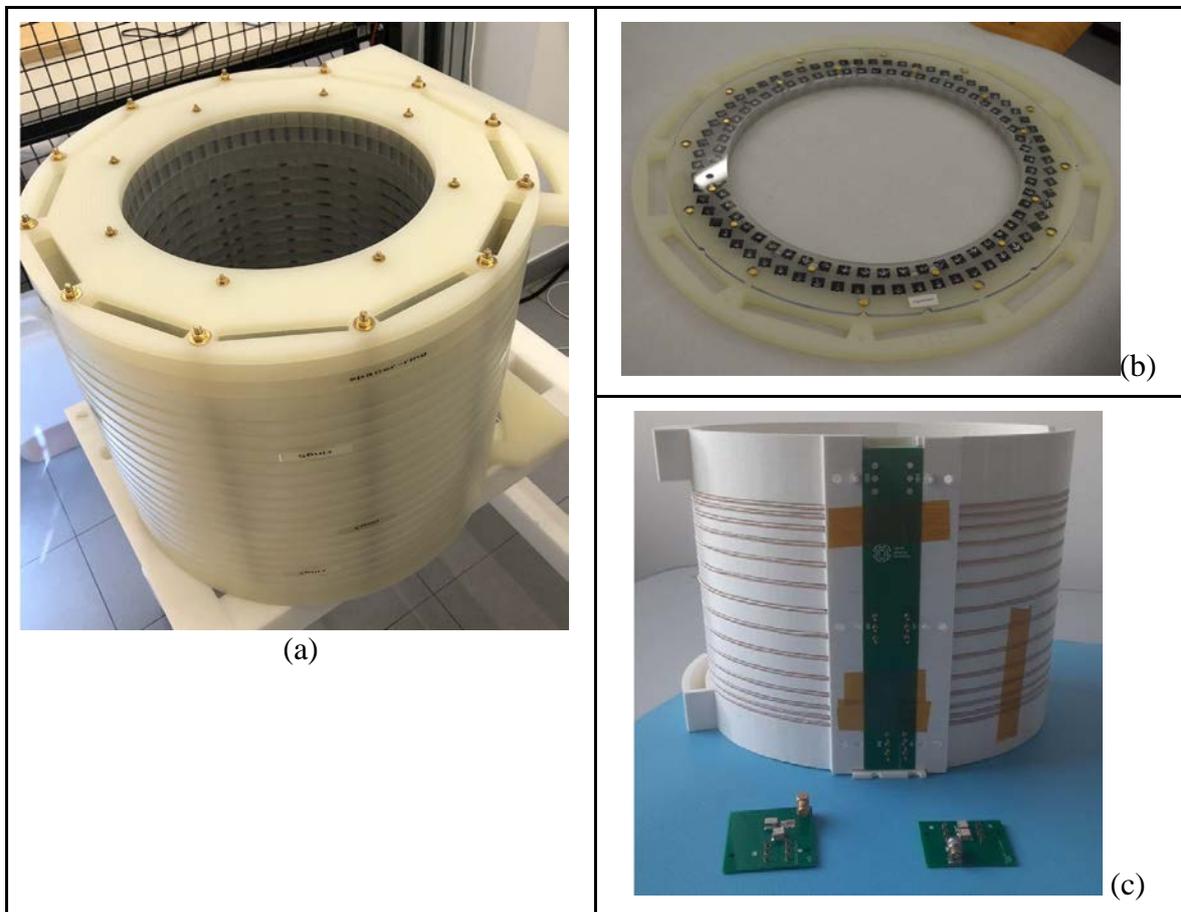


Figura 1 - (a) Insieme della struttura di magneti permanenti per la generazione del campo statico; (b) dettaglio di un singolo anello della struttura; (c) bobina RF.